



**VIŠJEŠOLSKI STROKOVNI PROGRAM
ELEKTRONIKA
MEHATRONIKA**

**IZVRŠILNI SISTEMI
POGONI IN MEHANIZMI
(PIM/IZS)
(DELOVNI OSNUTEK GRADIVA)**

FRANC ŠTRAVS

Višješolski strokovni program: ELEKTRONIKA, MEHATRONIKA

Učbenik: IZS/PIM (delovni osnutek kot prehodno gradivo)

Gradivo za 2. letnik

Avtor:

Franc Štravs
ŠOLSKI CENTER VELENJE
Višja strokovna šola



Nelektorirano gradivo!

Velenje, 2012

Predgovor

Za današnji čas je značilno, da inženirjem skoraj ni potrebno več konstruirati posameznih gradnikov za izvedbo avtomatiziranih sistemov. Številni svetovni proizvajalci nam ponujajo zelo širok izbor kvalitetnih in preizkušenih mehatronskih komponent, ki so največkrat izdelana za čim bolj univerzalno uporabo. To pomeni, da so take komponente konstrukcijsko zelo prilagodljive in funkcijsko programirjive.

To pa od sodobnega inženirja zahteva dobro poznavanje tehnološkega problema in zelo dobro poznavanje možnosti, ki jih te sodobne komponente omogočajo. Pri tem seveda ne gre brez dobrega teoretičnega poznavanja fizikalnih zakonitosti, značilnejših krmilnih in regulacijskih postopkov, merilnih metod s pripadajočo sensoriko ter izvršilnih členov – akuatorjev. Zaradi pogostokrat velike kompleksnosti teh komponent mora biti sodoben inženir tudi sposoben preštudirati obširno tujo dokumentacijo in iz nje »izluščiti« ter prilagoditi funkcije, ki jih bo potreboval za rešitev problema. Pri vsem tem pa je zelo pomembna tudi sistematičnost pristopa in dela, vse od zasnove do izvedbe.

Spoštovani študenti!

Cilj tega predmeta je, da si pridobite ravno ta znanja in kompetence, kar vam bo v mozaiku mehatronike in avtomatizacije omogočilo suvereno obvladovanje tega področja.

Predavatelj

KAZALO

| | |
|---|-----------|
| 1 OSNOVE KRMILJENJA, REGULACIJE IN VODENJA PROCESOV | 3 |
| 1.1 KRMILJENJE IN REGULACIJA..... | 3 |
| 1.2 OSNOVNE ZNAČILNOSTI SISTEMOV ZA VODENJE PROCESOV | 4 |
| 1.3 SISTEM OZNAČEVANJA ELEMENTOV V TEHNOLOŠKIH SHEMAH..... | 5 |
| 2 NAČINI REGULACIJE IN VODENJA | 7 |
| 2.1 REGULACIJSKO IN SLEDILNO DELOVANJE:..... | 7 |
| 2.2 PROPORCIONALNO VODENJE (P): | 7 |
| 2.3 PROPORCIONALNO-INTEGRIRNO (PI) VODENJE: | 7 |
| 2.4 PROPORCIONALNO-DIFERENCIRNO (PD) VODENJE:..... | 8 |
| 2.5 PROPORCIONALNO-INTEGRIRNO-DIFERENCIRNO VODENJE (PID) | 8 |
| 2.6 KRMILJENJE Z UPOŠTEVANJEM MOTNJE (<i>FEEDFORWARD CONTROL</i>) .. | 8 |
| 2.7 REGULACIJA RAZMERJA (<i>RATIO CONTROL</i>): | 9 |
| 2.8 KASKADNA REGULACIJA (<i>CASCADE CONTROL</i>) | 9 |
| 3 IZVRŠNI ČLENI (AKTUATORJI) | 10 |
| 3.1 SPLOŠNO O IZVRŠNIH ČLENIH | 10 |
| RAZLIKUJEJO SE GLEDE NA SPECIFIKO DELOVNEGA PODROČJA, MOČ IN HITROST | 10 |
| 3.1.1 Pnevmatški in hidravlični izvršilni členi: | 11 |
| 3.1.2 Električni in procesni ventili: | 11 |
| 3.1.3 Pnevmatični ventili kot pozicionerji: | 12 |
| 4 MERILNI SENZORJI IN MERILNI PRETVORNIKI | 14 |
| 4.1 MERILNI SISTEMI | 23 |
| 5 PRILOGA | 24 |
| 5.1 POGONI S KORAČNIMI MOTORJI | 24 |

Opomba!

Učbenik je v skrajšani obliki in ne zajema vseh vsebin, ki so predvidena iz obeh Katalogov znanj in predstavlja skupno vsebino za program Mehatronika in Elektronika. Del vsebin, ki manjka ali je specifičen za vsak posamezen program bo obravnavan v okviru predavanj oz. vaj, kjer si študenti pripravijo tudi ustrezne zapiske.

1 OSNOVE KRMILJENJA, REGULACIJE IN VODENJA PROCESOV



Definicija sistema, elementa in procesa

Sistem je množica elementov, ki so medsebojno odvisni in povezani tako, da delujejo kot celota.

Element je objekt, za katerega pred obravnavo ne poznamo notranjih lastnosti in veličin (zaprta škatla), temveč le tiste vhodno-izhodne odvisnosti, ki jih lahko opišemo s spremembo vhodnih in izhodnih veličin.

Proces je v splošnem vsaka kvalitativna (kaj) in/ali kvantitativna (koliko) sprememba v odvisnosti od časa – to je torej dinamični sistem, ki ga vzdržujemo v želenih-zahtevanih mejah.

1.1 KRMILJENJE IN REGULACIJA

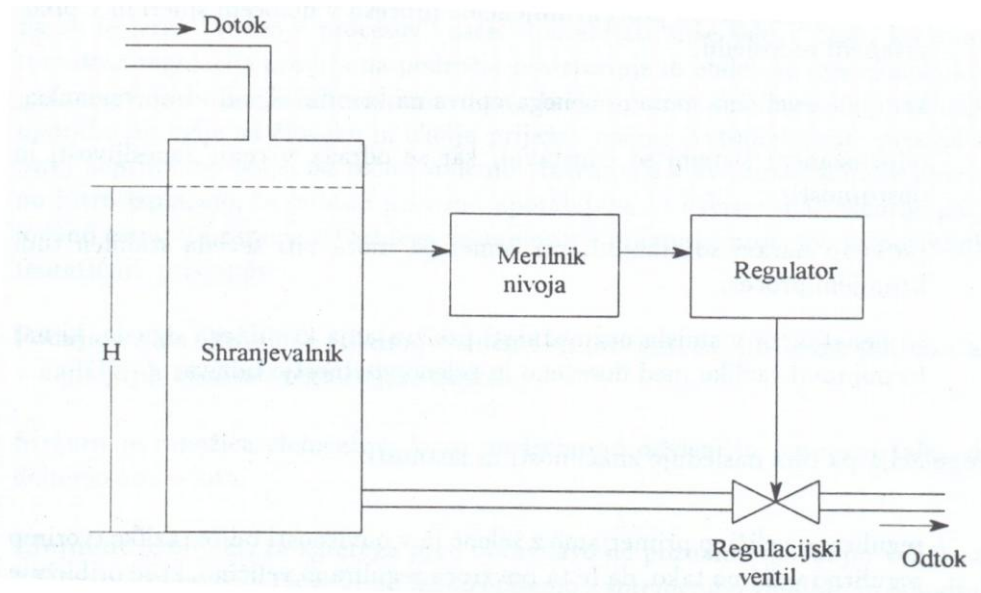
Krmiljenje

Pod pojmom krmiljenja razumemo tehnične procese, na katere lahko vplivamo in nastavljamo vrednosti, vendar imajo na te vrednosti vpliv zunanji faktorji (obremenitev, napajalni poogoji,...) in motnje. Za procese krmiljenja je značilno sledeče:

- Krmilni signali so usmerjeni v krmiljeni proces v eni smeri in v predpisanem zaporedju
- Krmiljena veličina nima nobenega vpliva na krmilni signal – **odprta zanka**
- Odprtozančni sistemi so enostavni, kar se odraža v ceni, zanesljivosti in obstojnosti
- Po svoji naravi so stabilni, pri čemer pa mora biti seveda stabilen tudi krmiljeni proces
- So nenatančni v smislu nezmožnosti proizvajanja krmilnega signala, ki naj bi popravil razliko med doseženo in želeno vrednostjo odziva

Regulacija

- Regulirana veličina se primerja z želeno vrednostjo in v odvisnosti od te razlike regulator tvori spremembo regulirne veličine tako, da se dejanska vrednost regulirane veličine izenačuje z nastavljeno-želeno vrednostjo – **zaprta zanka**.
- **Zaprtozančni sistemi** so zato sposobni relativno hitrega odgovora na zahtevano spremembo in so relativno natančni v prilagajanju dejanske vrednosti k željeni.
- **Zaprtozančni sistemi** se lahko tudi destabilizirajo (okvare na opremi) in če ima to lahko katastrofalne posledice (vodenje avionov, nuklearnih elektrarn ipd.), se proti okvaram zavarujemo z različnimi ukrepi, ki pa v sistem vnašajo dodatno opremo in kompleksnost.
- Potreba po merjenju regulirnih veličin pri zaprtozančnih sistemih lahko pomeni možnost vnosa različnih шумov, katerih vpliv pa se pri prehodu skozi regulacijsko zanko največkrat tako oslabi, da skoraj ne vplivajo na regulirane veličine. Pri tem se moramo zavedati, da regulacija nikdar ne more biti bolj točna, kot je meritev, največkrat pa je še veliko slabša.
- Kljub relativni hitrosti odziva se moramo pri zaprtozančnih sistemih zavedati, da se regulacijska aktivnost, ki naj bi popravila razliko med želeno in doseženo vrednostjo regulirane veličine ne more začeti prej, preden do te razlike ne pride (npr. vpliv motnje se mora do neke mere že pojaviti na izhodu).

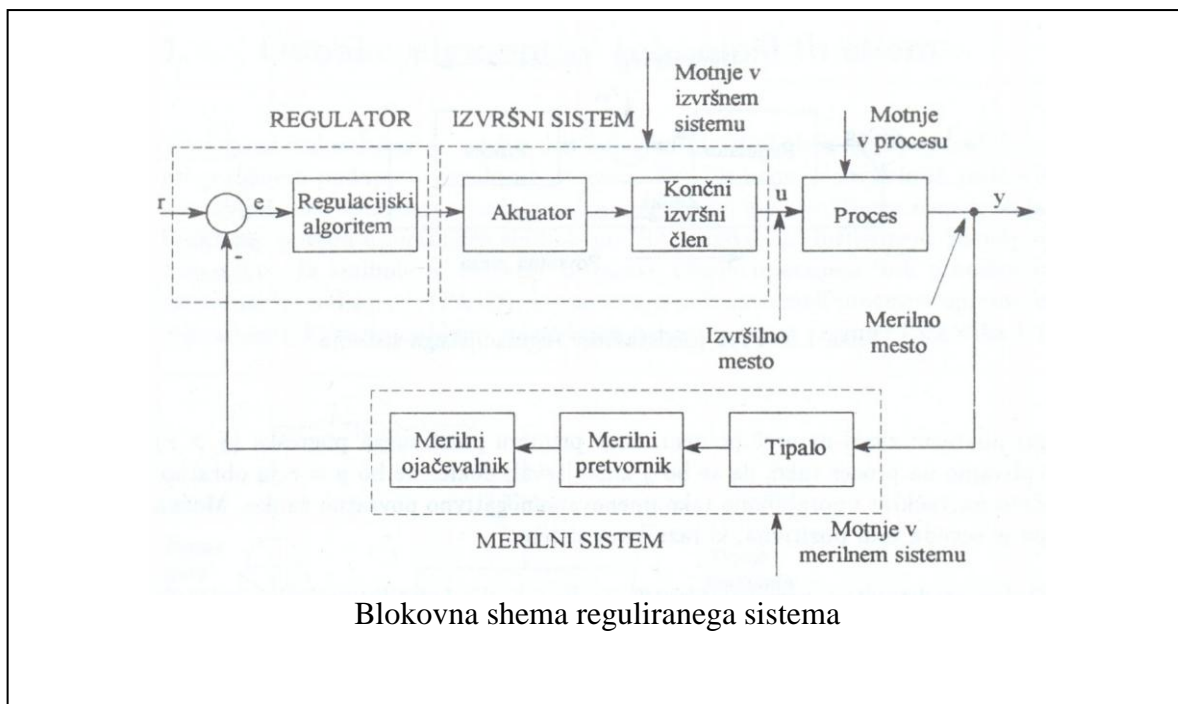


Primer regulacije nivoja

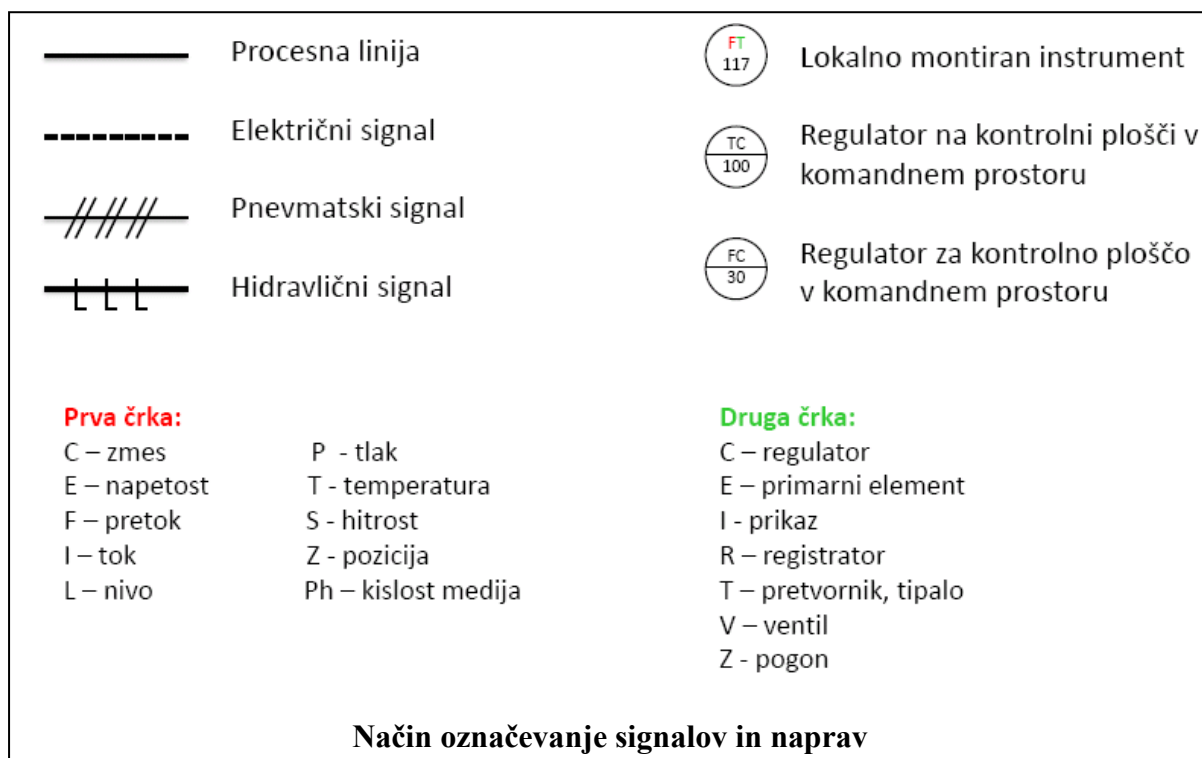
1.2 OSNOVNE ZNAČILNOSTI SISTEMOV ZA VODENJE PROCESOV

Regulirani sistem – v splošnem tvorijo regulirani sistem oprema in materiali, ki so povezani z neko proizvodnjo. Med mnogimi dinamičnimi spremenljivkami, ki jih lahko vsebuje regulirani sistem ali pa njegov matematični in/ali fizični model največkrat želimo regulirati le eno. Zato takšne procese imenujemo univariabilne. Pri multivariabilnih procesih pa reguliramo več medsebojno povezanih spremenljivk.

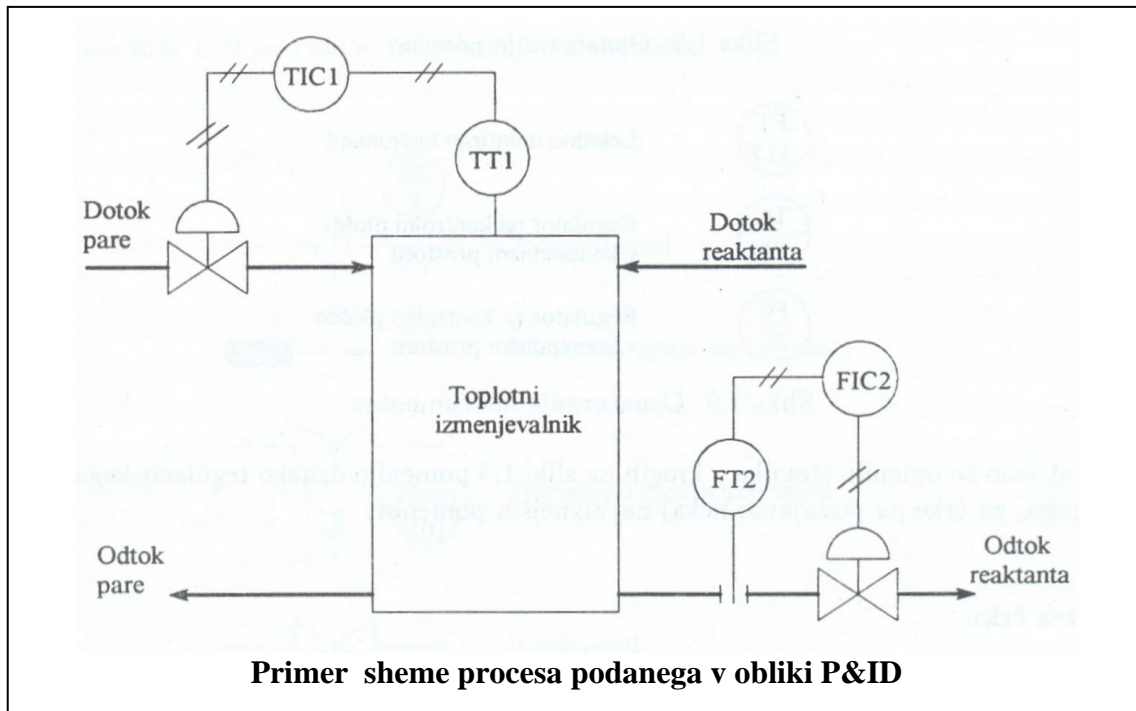
- **Meritev** – da bi lahko regulirali izbrane dinamične spremenljivke procesa, moramo dobiti o njih neko informacijo, ki jo omogočajo meritve. V splošnem meritev pretvori spremenljivko (regulirano veličino) v nek analogni signal, kot je npr. tlak v pnevmatskih sistemih, elektrina napetost ali tok. Napravo, ki izvrši omenjeno pretvorbo, imenujemo merilni pretvornik. Najpogostejši so merilniki premikov, temperature, tlaka, pretoka in nivoja, pa tudi različni analitični merilniki. Izhodne signale merilnih pretvornikov uporabimo v regulacijski zanki.
- **Vrednotenje** – v procesu vodenja pomeni vrednotenje ocenitev meritve in določitev ustrezne regulacijske akcije. Te del zanke imenujemo **regulator**. Vrednotenje lahko izvedemo ročno, v tem primeru ga izvede operater, ali pa avtomatsko z obdelavo omenjenih pnevmatskih ali električnih izhodov merilnih pretvornikov, ki jih primerjamo z želenimi vrednostmi. Regulator zahteva meritve reguliranih veličin, kakor tudi definicijo njihovih želenih vrednosti, ki jih imenujemo **nastavitvene točke**.
- **Izvršni člen** – to je element, ki direktno vpliva na regulirani sistem. Sprejme signal iz regulatorja in ga pretvori v ustrezno operacijo na reguliranem sistemu. Mnogokrat je to v procesni industriji regulacijski ventil, pogosto pa so uporabljeni tudi različni motorji in črpalke.



1.3 SISTEM OZNAČEVANJA ELEMENTOV V TEHNOLOŠKIH SHEMAH



V tehnoloških shemah moramo ločiti signale oz. procesne veličine glede na vrsto (električni, pnevmatski,...). Merilne naprave, regulatorje, aktuatorje in druge elemente tehnološkega procesa pa označujemo s krožno oznako in pripadajočimi črkovnimi kodami, ki izhajajo večinoma iz angleškega izrazoslovja za te elemente. Številka pomeni številčno ime konkretnega elementa, ki mu daje specifično oznako za enoumno razpoznavanje in označevanje pri vizualizaciji tehnološkega procesa.



V primeru vodenja mora regulirani sistem ustrezno reagirati na:

- Vpliv na dinamično obnašanje (hitre spremembe v procesu)
- Vpliv na stabilnost sistema (onemogočiti nestabilno delovanje)
- Vpliv na občutljivost sistema na spremembo sistemskih parametrov (npr. prestavno razmerje)

Regulirani sistemi se lahko med sabo razlikujejo glede na:

Regulirani objekt

- Procesno vodenje, procesni regulatorji

Vrsta regulirane veličine

- Odmik, hitrost, pospešek, sila, torzija, mehanska napetost, temperatura, tlak, masa, ...

Uporabljene regulirne veličine

- Električne, mehanske, hidravlične, pnevmatske, kombinacija naštetih

Značaj regulacijskih elementov

- Analogni (zvezni V/I), digitalni (binarni V/I), hibridni (kombinacija) regulacijski elementi

Linearnost regulacijskega sistema

- Linearni in nelinearni sistemi

Število regulacijskih zank

- Enozančni in večzančni sistemi

Značaj regulirnega signala

- Zvezno delujoči regulator, sekvenčni regulacijski sistem

2 NAČINI REGULACIJE IN VODENJA

2.1 REGULACIJSKO IN SLEDILNO DELOVANJE:

Namen regulacijskega delovanja je obdržati regulirano veličino skladno z želeno vrednostjo ne glede na motnje. V primeru, da se želena vrednost še časovno spreminja pa potrebujemo poleg odziva na motnje še čim boljše in ustrezno hitro prilagajanje regulirane veličine še tem spremembam in takrat govorimo o sledilnem delovanju regulacijske zanke (npr. CNC obdelava, lasersko pozicioniranje reza,...)

DOBRE LASTNOSTI POVRATNE ZANKE:

Z večanjem ojačenja regulatorja vplivamo na časovno konstanto sistema, ki se zmanjša in zato sistem postaja hitrejši. Dodatek ustrezno izbrane negativne povratne zanke sistem stabilizira, kar pri odprti zanki ni mogoče. Zmanjšuje občutljivost sistema na spremembe sistemskih parametrov. Povratna zanka bistveno zmanjša občutljivost sistema na motnje.

2.2 PROPORCIONALNO VODENJE (P):

Spreminjanje odprtosti ventila v smislu popravljanja pretoka vroče vode je odvisno od velikosti pogreška e . Proporcionalno vodenje opišemo z naslednjo relacijo:

$$V = K_C e + m$$

V = odprtost ventila (regularna veličina)

K_C = proporcionalno ojačanje regulatorja

m = konstanta, ki podaja odprtost ventila v povprečnih razmerah ($e = 0$)

Faktor K_C je mera za občutljivost spremembe odprtosti ventila glede na dani odstopok-pogrešek. Ventil naj bi bil dimenzioniran tako, da je za določeno nastavitveno točko nekje na sredini, saj tako omogoča akcije v obeh smereh, ki jih v največjih primerih zahtevajo motnje.

Odprtost ventila se lahko spremeni, le če se spremeni e , saj je m konstanta. Člen m pomeni odprtost ventila. Tako pozicijo ki jo podaja konstanta m imenujemo ročna prednastavitev.

Kolikšen bo pogrešek (padec temperature) je odvisno od nastavitve konstante K_C v regulatorju. Večja kot bo K_C manjši bo e . Pogrešek ne more biti nič ker bi to pomenilo $V = m$, kar pa ni mogoče saj je m nastavljen za povprečne razmere, kar pa za določeno spremembo dotoka ne daje $e = 0$. Posledično to pomeni, da ima (samo) proporcionalno vodenje vedno nek statični odstopok, ki je sorazmeren glede na velikost želene vrednosti.

2.3 PROPORCIONALNO-INTEGRIRNO VODENJE - PI:

Namesto prednastavitve izhodiščne delovne točke m premika PI regulator položaj ventila s hitrostjo, ki je proporcionalna pogrešku e . Ta dodatni regulacijski način imenujemo avtomatična prenestavitev ali pa **integrirno vodenje**. Večinoma ta način vodenja uporabljamo v kombinaciji s proporcionalnim vodenjem in omogoča za izničenje statičnega odstopka v ustaljenem stanju.

Glede na dejstvo, da integrirna akcija premika ventil s hitrostjo ki je proporcionalna pogrešku,

lahko ta način vodenja opišemo z dif. enačbo: $\frac{dV}{dt} = K_I e$ pri čemer je K_I integrirna

konstanta definirana kot $K_I = K_C/t_i$.

t_i ... **integracijski čas:**

To je čas po katerem pride do enake spremembe odprtosti ventila kot pride pri proporcionalnem delu.

Za odprtost ventila V torej dobimo enačbo:

$$V = K_I \int_0^t edt$$

Ta enačba nam pove, da je odprtost ventila proporcionalna integralu pogreška,

kar vnaša tudi določeno počasnost odziva.

S kombinacijo proporcionalnega in integrirnega delovanja (PI) dobimo izraz

$$V = K_C e + \frac{K_C}{t_i} \int_0^t edt + m$$

Pri tem načinu naj še omenimo še problem tako imenovanega integralskega pobega.

INTEGRALSKI POBEG:

Zgodi se namreč lahko, da regulator zahteva signal, ki je izven operacijskega področja regulatorja samega ali aktuatorja ali pa izvršnega člana (npr. ne moremo doseči več kot polno odprtost ventila). V tem primeru pogrešek ne more pasti na 0 in integrirni del regulatorja ta pogrešek integrira, s čimer zahteva še vedno večjo in večjo regulirno veličino.

2.4 PROPORCIONALNO-DIFERENCIRNO VODENJE - PD

Diferencialni del je sorazmeren na to kako hitro se pogrešek spreminja. Torej je sprememba odprtosti ventila je proporcionalna hitrosti spremembe pogreška. Ko se pogrešek ne spreminja več, tudi tovrstna regulacija preneha delovati, pa čeprav je lahko statični pogrešek še velik. Diferencirno regulacijsko akcijo opisuje dif. enačba:

$$V = K_D \cdot \frac{de}{dt} ; \text{ kjer je } K_D \text{ definirana kot } K_D = K_C t_d \text{ pri čemer je } t_d \dots \text{diferencirni čas!}$$

Kombinacija te funkcije s proporcionalnim regulatorjem predstavlja proporcionalno-diferencirno (PD) vodenje, ki ga opisuje izraz:

$$V = K_C e + K_D \dot{e} + m$$

diferencirni čas (t_d) = je čas, ki pripada trajanju diferencirnega deleža.

Spremenljivi pogrešek lahko matematično opišemo z relacijo $e = ct$ kjer je c konstanta ki določa naklon premice. Prevelik diferencirni delež v PD-regulaciji hitro povzroči nestabilno delovanje, samostojen diferencirni del pa sploh ni uporabljen.

2.5 PROPORCIONALNO-INTEGRIRNO-DIFERENCIRNO VODENJE - PID

Proporcionalno-integrirno-diferencirno (PID) vodenje kombinira tri načine vodenja, kar je razvidno iz regulacijskega zakona, ki ga zapišemo v obliki:

$$u = K_C e + \frac{K_C}{t_i} \int_0^t edt + K_C t_d \frac{de}{dt}$$

Tovrstno vodenje omogoča optimalno hiter in stabilen odziv z prenehanjem v dovoljenih mejah in seveda brez pogreška v ustaljenem stanju. Ptimiranje nastavitvev PID regulatorjev je težavno, saj spreminjamo tri parametre, kateri pa tudi vplivajo eden na drugega. Kljub temu pa je to eden najbolj razširjenih regulatorjev, ki ob optimalni nastavitvi daje najboljše rezultate vodenja.

2.6 KRMILJENJE Z UPOŠTEVANJEM MOTNJE (FEEDFORWARD CONTROL)

Ideja tovrstnega vodenja je reagirati na motnjo, še predno ta vpliva na izhod sistema. Seveda pa ima tovrstni način nekaj tako slabih lastnosti, da krmiljenje z upoštevanjem motnje

navadno vedno uporabljamo v kombinaciji s povratno zračnim vodenjem. Krmiljenje z upoštevanjem motnje, ki bi bilo uporabljeno brez povratno zračnega vodenja bi namreč zahtevalo detajlno poznavanje sistema, pri čemer omenjena kompenzacija motnje še vedno ni idealna rešitev. Motnje ki jih želimo kompenzirati na ta način, morajo biti natančno predvidljive in enostavno merljive. Torej, ta način je lahko v uporabi takrat, kadar natančno vemo kdaj se bo pojavila pričakovana motnja in v kolikšni meri (glavna motnja). Za našete slabosti poskrbi povratna zanka, ki pa ima po drugi strani delo olajšano, saj za glavno motnjo v veliki meri skrbi krmilnik.

2.7 REGULACIJA RAZMERJA (*RATIO CONTROL*)

Za regulacijo razmerja je značilno, da zagotovi želeno razmerje dveh veličin. Ena je merljiva, vendar pa nanjo z regulirno veličino ne moremo vplivati, druga pa je prava regulirana veličina, ki jo merimo in nanjo tudi vplivamo z regulirno veličino. Vendar pa je dejanska regulirana veličina razmerje R , ki je med veličino, na katero lahko vplivamo in veličino ki jo le merimo. Včasih lahko R dobimo kar neposredno iz merilnika (npr. merilnik koncentracije), vendar pa se izkaže da je bolje če prenesemo računanje razmerja iz regulacijske zanke.

Regulacija razmerja se največkrat pojavlja pri vodenju procesov, kjer je potrebno kontinuirano mešati več komponent tako, da dobimo želeno sestavo rezultirajoče mešanice.

2.8 KASKADNA REGULACIJA (*CASCADE CONTROL*)

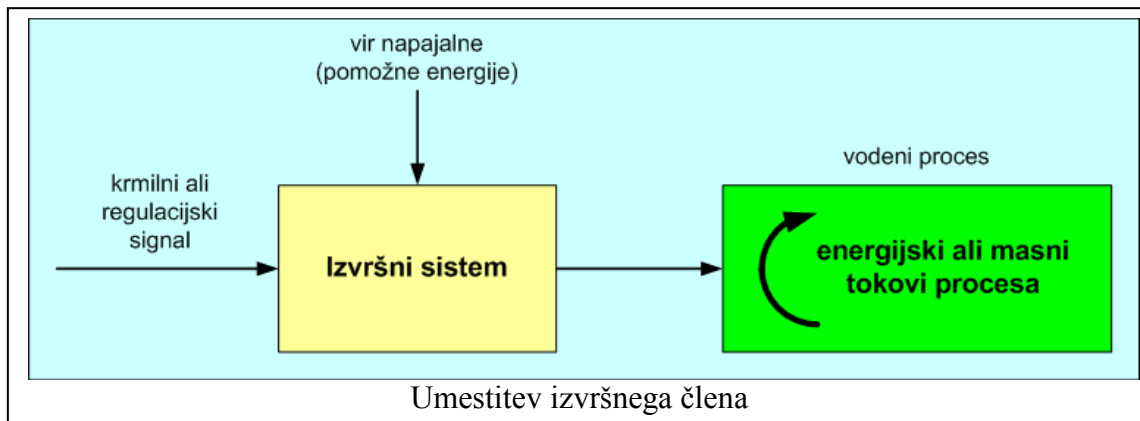
Kaskadna regulacija predstavlja eno izmed najpogosteje uporabljenih več zračnih regulacijskih struktur. Temelji na uvedbi pomožne regulirane veličine. Razen prave regulirane veličine merimo še neko pomožno (Y_p) in uporabimo dva regulatorja ki sta vezana v kaskado. Prvi glavni regulator ima nastavljivo referenco (R), njegov izhod pa ne predstavlja regulirne veličine, temveč je to referenčni vhod (R_p) za drugi (pomožni) regulator (nima nastavljive reference), ki na svojem izhodu daje regulirno veličino (u). Dobimo glavno (zunanjo) zanko in pomožno (notranjo) zanko, ki pomenita izboljšanje kvalitete regulacije glede na eno zračno regulacijo zanke:

- zmanjšanje vpliva motenj in sprememb v procesu
- zmanjšanje vplivov nelinearnosti procesa
- zaradi hitrejšega delovanja sistema

Tip regulatorja moramo skrbno izbrati za obe zanki. Za pomožno zanko največkrat izberemo P regulator, saj integrirne komponente, ki bi izničila pogrešek v ustaljenem stanju največkrat ne potrebujemo, ker glavna zanka tako ali tako zvezno spreminja referenco pomožne. V zunanjo pa je priporočljivo vstaviti vsaj PI regulator. Diferencialna komponenta naj bi bila vključena v eno ali drugo zanko le v primeru zelo velikih zakasnitev. Najprej moramo nastaviti pomožno (P) zanko potem pa še glavno (PI) ki obravnava že nastavljeno pomožno zanko kot del sistema.

3 IZVRŠNI ČLENI (AKTUATORJI)

3.1 SPLOŠNO O IZVRŠNIH ČLENIH



Razlikujejo se glede na specifiko delovnega področja, moč in hitrost

Vplivajo na:

- Transport olja, plina, zračni tlak, električni tok itd.
- Krmili jih regulator z regulirnim signalom
- Predstavljajo zvezo med regulatorjem in procesom
- Prilagojeni morajo biti regulatorju in procesu
- Večina jih je konstruiranih tako, da jih je mogoče premikati ročno ali avtomatsko
- S svojimi pogoni – akuatorji – so mnogokrat povezani v celoto
- Glede na izhodni signal ločimo:
 - Hidravlične
 - Pnevmske
 - Električne
- Njihovo delovanje je lahko zvezno ali nezvezno

Izbira vrste izvršnega člena z ozirom na regulirano veličino:

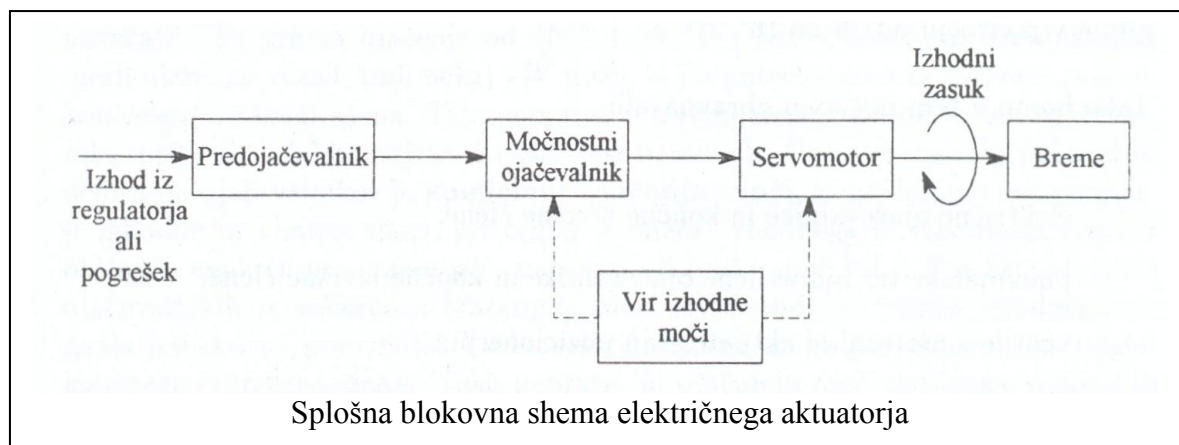
- Pretok tekočine.....ventil
- Pretok plina.....loputa
- Električni tok.....tiristor
- Električna napetost.....nastavljivi transformator (z odcepi), PWM signal
- Signali na izhodih merilnikov ne zadoščajo za pogon izvršnih členov v regulacijski zanki. Zato je potrebno energijski nivo ustrezno povečati z ojačevalniki (*drive*).
- Ojačevalnik moči (faktor ojačenja moči, navora,...)
- Pri akuatorskih ojačevalnikih se poleg ojačenja moči izvrši tudi pretvorba vhodnega signala (električni, pnevmatski) v kinematični izhod, ki ga potrebujemo za pogon končnega izvršnega člena - akuatorja.

Značilnosti akuatorjev

- Delovanje akuatorjev je ravno nasprotno, kot delovanje merilnikov.
- Izhod akuatorja je lahko translatorski ali rotacijski (preko zobatih prenosov, zobatih jermenov (*timing belts*), vijačni prenosni z navjnimi vreteni, itd.)

Aktuatorji v regulacijskih zankah morajo zadostiti naslednjim pogojem:

- Imeti morajo predpisani koeficient ojačenja moči,
- Karakteristika naj bo približno linearna,
- Področje neobčutljivosti ne sme biti večje od predpisanega praga,
- Časovna konstanta akuatorja naj bo čim manjša, pri čemer ne presega vnaprej določene vrednosti.



3.1.1 Pnevmatski in hidravlični izvršilni členi:

Ojačevalnike s fluidi delimo na :

- Ojačevalnike s tekočinami (navadno uporabljajo hidravlično olje):
 - curkovna cev
 - sklop šoba-zaslon
 - batni ojačevalnik
- Ojačevalnike s plini(pnevmatski)
 - curkovna cev
 - sklop šoba-zaslon

Curkovna cev:

Tovrstni ojačevalniki imajo univerzalne možnosti uporabe in so dosegljivi v hidravličnih kot tudi v pnevmatskih izvedbah. Sestavljeni so iz premične cevi s šobo, iz katere brizgamo hidravlično tekočino (ali plin) pod visokim tlakom v odprtini dveh vodov proti bremenu. Ko je cev v ničnem položaju, bo tlak v obeh izhodnih vodih enak, če pa se cev pod vplivom vhodnega izmakne iz centralne lege, bo tlak v enem odvodu padal, v drugem pa naraščal. Če je breme bat se bo ta gibal v skladu z vhodnim premikom. Sistem deluje praktično brez trenja in ga uporabljamo kot predojačevalnik pri večstopenjskih ojačevalnikih.

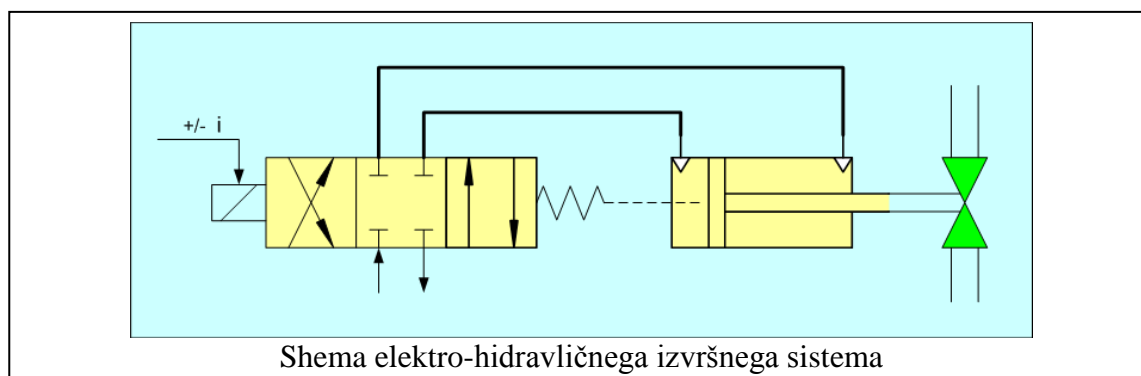
Končni izvršni členi:

Hidravlični ali **pnevmatski** motorji predstavljajo naprave, ki ravno obrnejo delovanje nekaterih črpalk, kompresorjev. Pogonsko sredstvo je torej fluid.

- Pnevmatski motorji:
V glavnem ločimo batne in membranske izvedbe.

3.1.2 Električni in procesni ventili:

Električne uporabljamo za regulacijo el. toka ali moči v enosmernih ali izmeničnih razmerah. **Procesne** delimo na zaporne (ON/OFF) in regulacijske.



Zaporni (on/off) ventil naj bi v danem trenutku popolnoma zaprl cev (če to zahteva proces, npr. v primeru remonta). V normalnem delovanju pa je zaporni ventil največkrat popolnoma odprt in je v zapori le v relativno kratkih časovni intervalih.

V regulaciji so najvažnejši so zvezni regulacijski ventili, s katerimi uravnavamo masne oz. prostorninske pretoke fluidov (plinov, par, kapljev, sipkih materialov). Ventil predstavlja upor proti pretoku Φ ki je odvisen od prereza odprtja ventila (A).

Karakteristike ventilov:

Karakteristika ventilov je relacija med spremembo odprtosti ventila in spremembo pretoka skozi ventil. Največ uporabljane so linearna, enako procentualna in zaporna karakteristika.

- **Zaporna:** Zaporni ali hitro odpirajoči ventil uporabljamo v glavnem za ON/OFF regulacijo. Ima raven čep in do polne odprtosti pride že po 30% hoda ventila (npr. krogelni ventil). Tovrstne ventile uporabljajo predvsem pri gretju, ventilaciji, itd.
- **Linearna:** Za ventile z linearno karakteristiko je značilno, da pri konstantnem padcu tlaka na ventilu sprememba lege čepa h povzroči enako spremembo pretoka

$$\frac{\Phi}{\Phi_{\max}} = \frac{h}{h_{\max}}$$

Ti ventili imajo čep z izrezom V. Primerni so na primer pri proporcionalni regulaciji pretoka pare itd.

- **Enakoprocentualna:** Pri ventilih z enakoprocentualno karakteristiko pa enaka procentualna sprememba lege čepa povzroči enako spremembo pretoka. V splošnem ta tip ventila v svojem celotnem hodu ventila ne zapre popolnoma. To ponazorimo z rangirnim faktorjem R

$$R = \frac{\Phi}{\Phi_{\max}} \quad \text{in relacijo} \quad \Phi = \Phi_{\min} \cdot R^{\frac{h}{h_{\max}}}$$

Oblika čepa pri teh ventilih je taka da se pretok menja kot kvadratni koren hoda čepa. Take ventile uporabljamo npr. pri ogrevanju z vrelo vodo.

Poznamo še korenske in hiperbolične karakteristike...

3.1.3 Pnevmatični ventili kot pozicionerji:

Pri regulacijskih ventilih, ki uporabljajo pnevmatske aktuatorje uporabljamo **pozicionerje**.

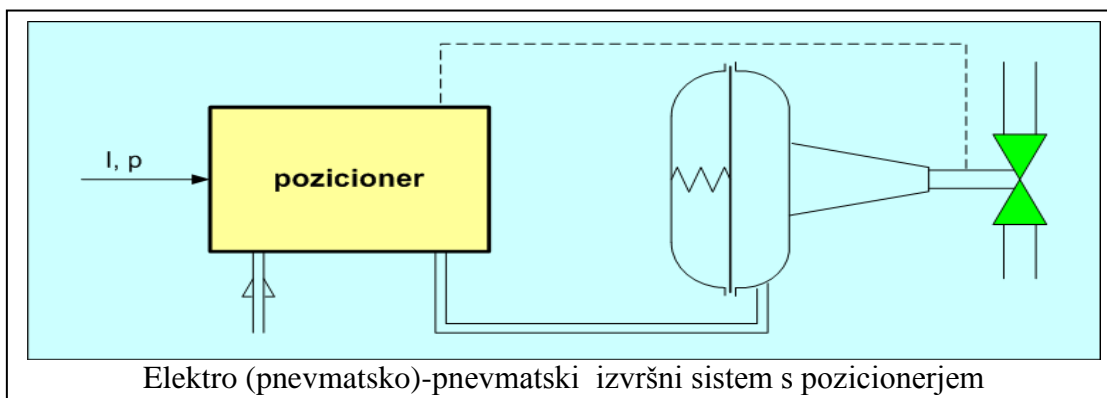
Ventilski pozicioner je v bistvu zaprtozančni regulator pozicije vodila in s tem čepa ventila. Za to potrebujemo pnevmatični diferencialni ojačevalnik tipa šoba-zaslon, ki krmili pnevmatski rele, ta pa aktuator. Dodatek le teh prinaša naslednje prednosti

-zmanjša odzivni čas ventila

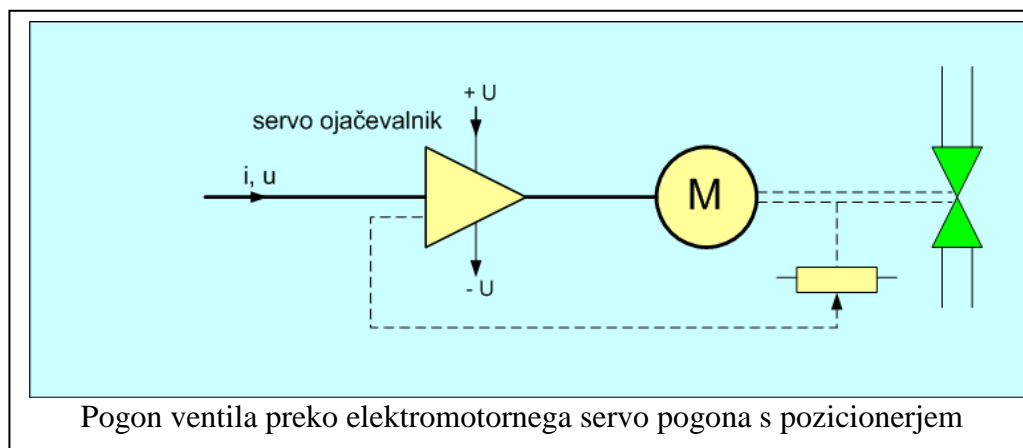
-izboljša linearnost med premikom vodila in regulirnim signalom

Ločimo dve vrsti pozicionerjev:

- z odjemom položaja
- z odjemom sile



Na zaslon deluje vhodni (regulirni) signal, ki ga v primeru pnevmatičnega standarda vnašamo z mehomo (ali kapsulo), v primeru enosmernega električnega standardnega regulirnega signala pa s primernim motorjem. Prav tako deluje na zaslon povratno-zančni signal, ki ga z vodila ventila odjemamo direktno z ustreznimi povezavami ali preko vzmeti. Ko dosežemo ravnotežje zaslona (vhodni signal enak premiku vodila) je ventil pozicioniran. Tako lahko vedno dosežemo zahtevani položaj ne glede na zunanje faktorje, ki vplivajo na vodilo.

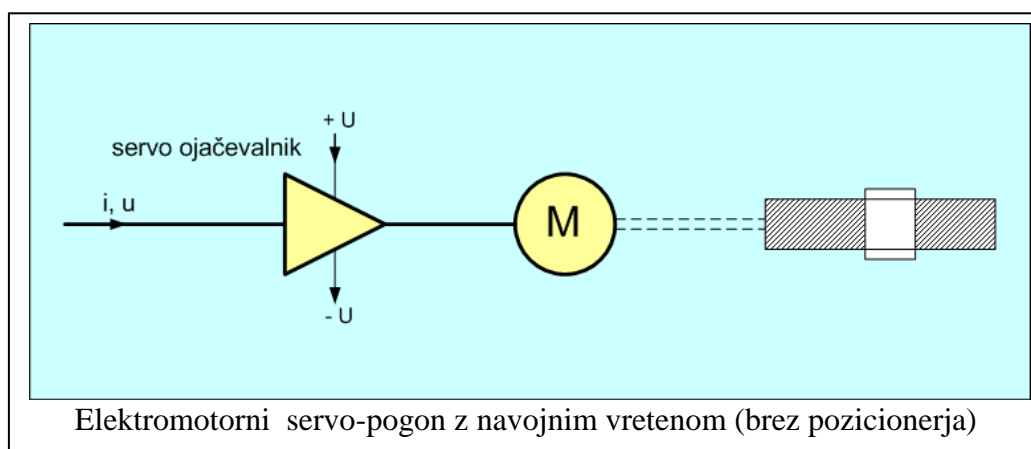


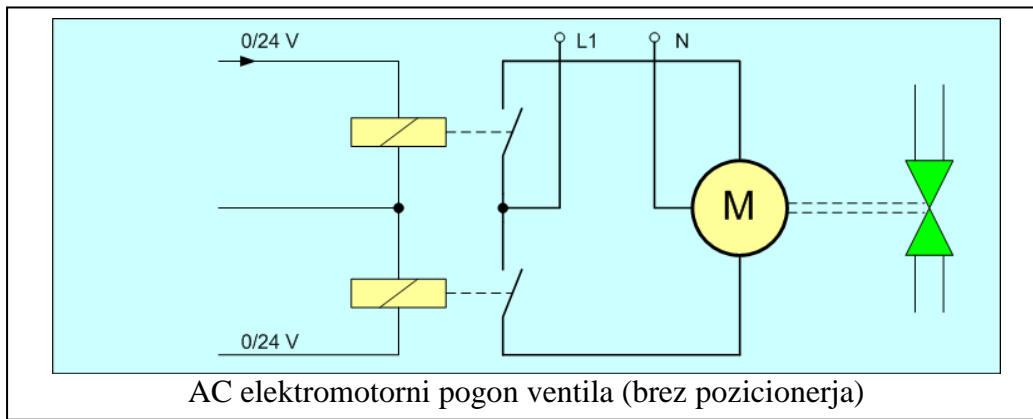
Kadar izvršni sistemi pri svojem delovanju generirajo mehanski premik, jih pogosto opišemo z dvema izrazoma: aktuator + končni izvršni člen, zaslediti pa je mogoče tudi drugačno delitev: pozicioner + aktuator + končni izvršni člen. Načeloma je aktuator tisti del izvršnega sistema, ki ob uporabi pomožne napajalne energije povzroči mehanski premik v sorazmerju s krmilnim signalom na vhodu. Mehanski premik nato omogoča spremembo energijskega ali masnega pretoka v procesu, kar opravi končni izvršni člen, npr. ventil, loputa, itd.

Pozicioner je naprava, ki služi kot lokalni regulator pozicije aktuatorja.

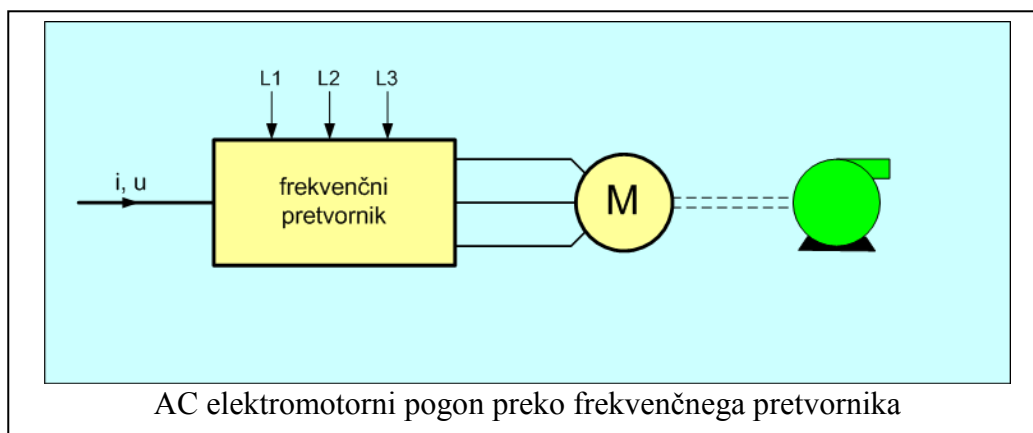
Pozicioner primerja velikost vhodnega signala v izvršnem sistemu z dejansko pozicijo aktuatorja, ter nato s spreminjanjem vzbujanja aktuatorja poskuša dejanski premik čim bolj uskladiti z vhodnim signalom. Pri nekaterih izvršnih sistemih je mogoče z uporabo pozicionerja doseči bistveno boljše statične in dinamične lastnosti, npr. pri elektro-pnevmatskem izvršnem sistemu. Elektrohidravlični sistemi, so v obeh izvedbah, torej z vgrajenim pozicionerjem in brez.

Elektromotorni pogoni, pa pogosto delujejo brez pozicionerja.

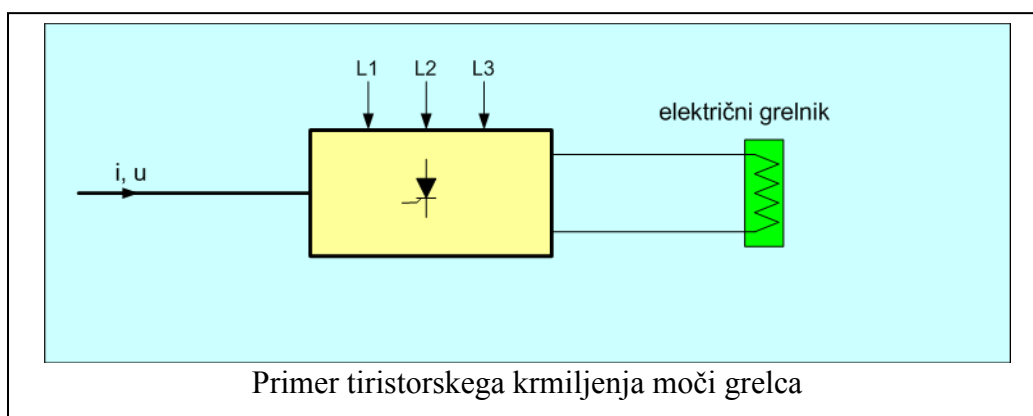




Pri sistemih s frekvenčnim pretvornikom delitev na aktuator in izvršni člen ni smiselna, saj že sam frekvenčni pretvornik omogoča številne dodatne funkcije preko nastavitve parametrov (nadzor nad vrtiljaji, nadzor nad tokom (momentom), časovne in logične funkcije,...)



Pri sistemih s krmiljenjem moči preko PWM signala (DC) oz. tiristorskim krmiljenjem moči (AC) gre za popolnoma električno vplivanje na spremembo (brez vmesnega pretvarjanja) zato tam pojem aktuatorja ni uveljavljen. V takih primerih govorimo samo o električnih ojačevalnikih moči.



Končne izvršne člene izbiramo predvsem glede na potrebe procesa, ki ga želimo voditi (velikost sile, navor, hitrost regulacije, zahteve okolja(vgradnje),...)

Za uravnavanje npr.:

- pretoka tekočine.....uporabimo ventil
- pretoka plina.....uporabimo loputo
- električnega toka.....močnostni tranzistor, tiristor
- el. napetosti.....krmiljeni usm., SMPS nap., PWM režim, nastavljivi transformator

Glede na vrsto pomožne energije aktuatorje tako delimo na električne, mehanske, pnevmatske in v hidravlične.

Vhodni signali v aktuatorje ali pozicionerje so lahko tokovni, napetostni (analogni ali digitalni – npr. RS232, Modbus,...), pnevmatski.

Izvršne sisteme je mogoče razdeliti še v dve skupini: na zvezno in nezvezn delujoče (stopenjske). Stopenjski (ON/OFF) so po konstrukciji enostavnejši od zveznih in jih je mogoče uporabiti za stopenjsko regulacijo enostavnih procesov ali za izvajanje šaržnih in sekvenčnih postopkov. Zvezni izvršni sistemi so zahtevni in kritični gradniki sistemov za vodenje procesov. Pomen njihove kvalitete in ustreznosti je mogoče uvrstiti na drugo mesto, po pomembnosti takoj za merilne sisteme.

3.2 ELEKTRIČNI IZVRŠNI SISTEMI, AKTUATORJI IN SERVOSISTEMI

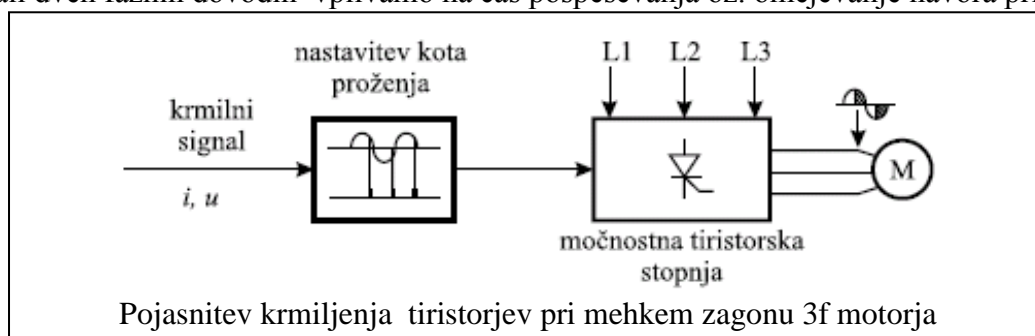
Pri povsem električnih izvršnih sistemih pomožna energija iz električnega omrežja prehaja sočasno v proces preko električnega izvršnega člana (npr. grelnika). Spreminjanje energijskega toka (moči) v razmerju z vhodnim signalom je mogoče doseči z uporabo stikalnih tranzistorjev in z uporabo tiristorjev, ki je najbolj razširjena. S tiristorji je mogoče krmiliti električne moči tudi nekaj MW, za manjše moči pa se uporabljajo tudi triaki. Tiristorje oz. triake uporabljamo predvsem v izmeničnih električnih sistemih, pri katerih tok skozi tiristor prekine že vsak "naravni" prehod omrežne napajalne napetosti preko ničle (vsakih 10 ms).

Za industrijo so nepogrešljivi pogoni z indukcijskimi elektromotorji. Elektromotor opravlja mehansko rotacijo ali določen zasuk. Za pretvorbo v translatorsni pomik so zato potrebni še mehanski sklopi, npr. vijačna vretena, zobate letve, zobati jermeni, galove verige, itd. Neposredni translatorsni premik je mogoče doseči z linearnimi motorji, elektromagnetnimi zaklopi (solenoidi).

Elektromotorje izbiramo glede na moment in hitrost, ter druge karakteristike (napajanje, vztrajnost, vzdržljivost,...)

Asinhroni izmenični motor s kratkostično kletko (indukcijski) je najenostavnejši in najrobustnejši elektromotor. Enofazne izvedbe so za moči do 3kW, trifazne izvedbe pa za moči od nekaj 100W do nekaj MW. Pri enofaznih je število vrtljajev odvisno od števila polov (izvedba navitja). Običajne izvedbe so s kondenzatorjem, druge s pomočjo dodatnega zagonskega navitja ali v izvedbi z zasenčenimi poli (za najmanjše moči). Za regulacijo z elektronskimi regulatorji niso primerni in posledično za zvezno krmiljenje manj primerni. *Trofazni indukcijski asinhroni motor* je najbolj primerna rešitev za pogone velikih moči, s frekvenčnim pretvornikom pa tudi spreminjanje vrtljajev ni problem.

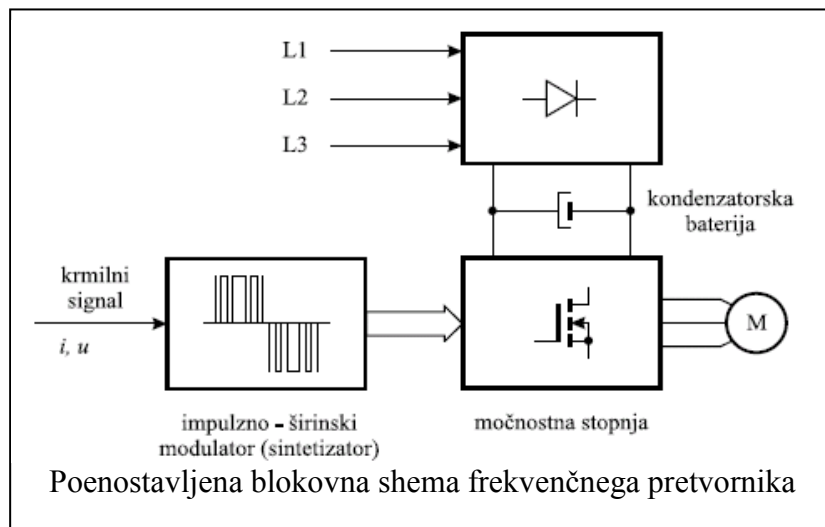
Hitrost in navor je mogoče spreminjati s spreminjanjem napajalne napetosti ali napajalne napetosti in frekvence, ki je lahko tudi do 10-kratnik nazivne. Seveda mora biti v tem primeru tudi motor grajen tako, da zdrži tako visoke vrtljaje. V takem primeru je motor vezan v vezavo trikot, da lahko frekvenčni pretvornik tudi pri višji frekvenci od nazivne doseže v vsakem navitju ustrezen tok. Za upočasnjem zagon lahko uporabimo krmiljenje zvezda-trikot in module za »mehak zagon« (soft start), kjer lahko preko zakasnjene vžiganja tiristorja v eni ali dveh faznih dovodih vplivamo na čas pospeševanja oz. omejevanje navora pri zagonu.



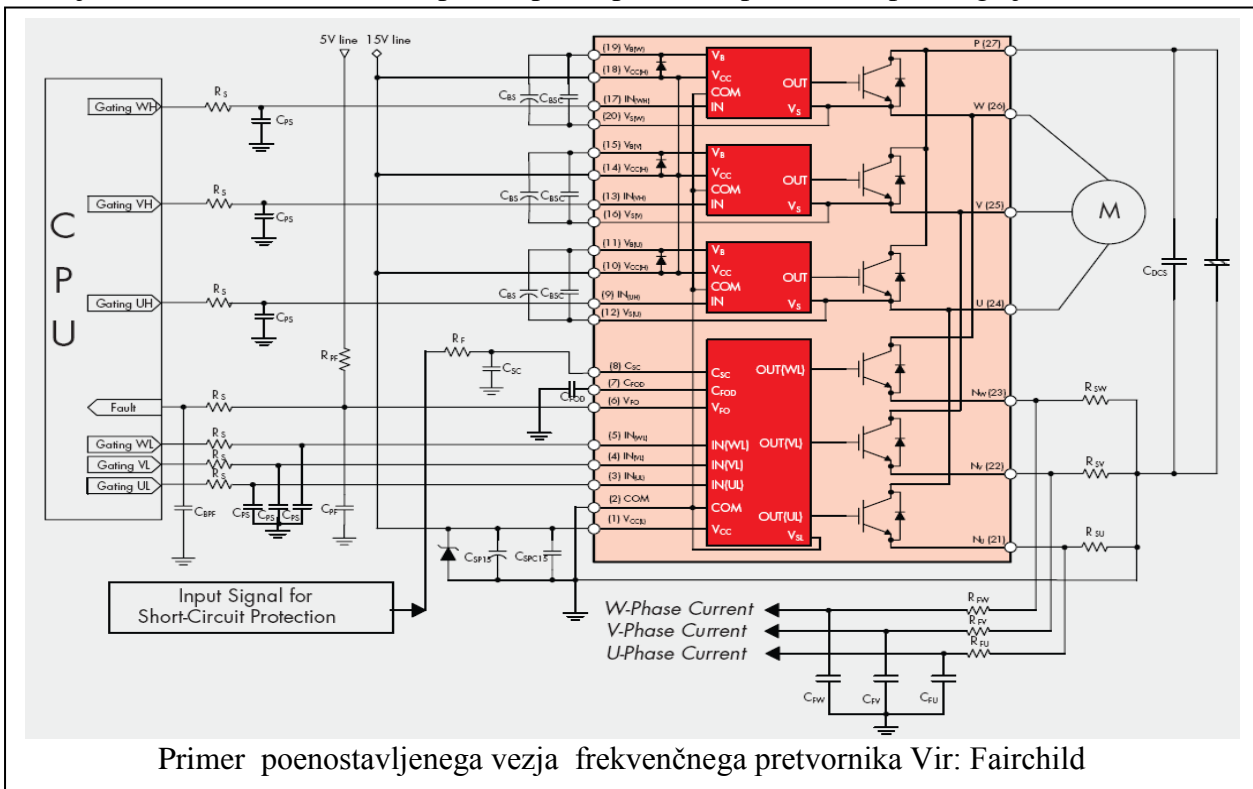
Postopek za mehak zagon je zelo enostaven, a omogoča le začasno spreminjanje vrtljajev. V močnostni stopnji, ki dovaja energijo motorju, so tiristorji. S spreminjanjem trenutka proženja tiristorjev je mogoče določati, v kolikšnem delu periode napajalne napetosti teče tok iz omrežja skozi navitje motorja. Kasnejše ko je proženje tiristorjev, krajši je čas prevajanja tiristorjev, nižja je efektivna napetost na motorju, nižji so vrtljaji. In obratno. Ta krmilni postopek je sicer res enostaven in primeren tudi za velike moči motorjev, a ima pri nizkih vrtljajih motorja zelo nizek izkoristek ter visoke izgube v motorju. Kljub temu je v množični uporabi, saj se je uveljavil kot uspešni način za "mehki zagon" elektromotorjev, ko je ta sistem v funkciji le nekaj sekund ali minut pri zagonu naprav (npr. za tekoče stopnice)

Pri napetostno-frekvenčnem krmiljenju asinhronih motorjev sočasno spreminjamo napetost in frekvenco napajanja elektromotorja. Napetost omrežja je potrebno najprej usmeriti, zgladiti s kondenzatorji (kondenzatorska baterija), ter velikost prilagoditi glede na izhodno frekvenco.

Močnostna stopnja z IGBT tranzistorji enosmerno napetost pulzno-širinsko razseka po sinusno modulirani PWM metodi tako, da dobimo na treh izhodih PWM impulze, ki so fazno premaknjeni za 120 stopinj (glede na izhodno frekvenco). Izhodne napetosti so sicer impulzne, vendar pa je posledičen tok skozi navitje motorja bolj ali manj sinusne oblike.



Žal se pri tem generira tudi veliko višjih harmonskih komponent zato moramo za zaporo teh po potrebi uporabiti še kakšne vhodne in tudi izhodne filtre in opletan kabel za napajanje motorja. Nadzor toka v vsaki fazi poteka preko padcev napetosti na uporih (glej shemo).



Posebne izvedbe predstavljajo servo-motorji, ki imajo trifazno navitje kot indukcijski, a rotor je sestavljen iz trajnih magnetov. S takšno konstrukcijo dobimo sinhronski elektromotor, kjer se rotor vrti sinhrono z magnetnim poljem. Take izvedbe servomotorjev imajo pogosto že vgrajeno elektromagnetno zavoro in inkrementalni dajalnik za nadzor pozicije.

<http://www.boschrexroth.com/dcc/Vornavigation/Vornavi.cfm?Language=EN&VHist=g97568,g96068,g98667&PageID=p146804>

Za enostavnejše servosisteme se uporabljajo tudi enofazne izvedbe indukcijskih elektromotorjev <http://www.orientalmotor.com/products/ac-motors/>, ki so lahko tudi v sinhroni izvedbi. Tudi enofazne sinhronne izvedbe imajo rotor s trajnim magnetom.

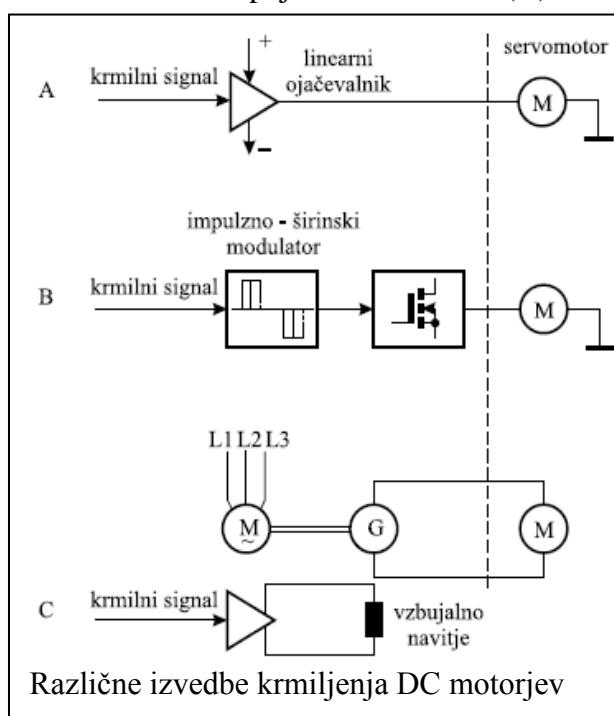
Enosmerni motor (DC) je naslednji najpomembnejši pogonski stroj, ki se uporablja povsod kjer je na voljo DC napajalni izvor. DC motorji običajno niso grajeni le za manjše moči. Njihove pomembne prednosti so: visok začetni navor, visoki dosegljivi vrtljaji, ter enostavno spreminjanje vrtljajev in smeri vrtenja. Z različno vezavo statorskega navitja (serijska, paralelna, kombinirana vezava), je mogoče vplivati na začetni navor, maksimalno število vrtljajev, obliko navorno-hitrostne karakteristike, itd. Njihova osnovna slabost so ščetke in komutator, ki poleg iskrenja in večjega hrupa povzročata tudi umazanijo in obrabo ščetk kar posledično pomeni pogosto vzdrževanje. Za moči do 150W so tudi izvedbe brez ščetk (BLDC), kjer za komutacijo poskrbijo Hallovi senzorji in pripadajoči tranzistorski gonilnik http://de.nanotec.com/schrittmotor_animation.html?motor=motor_blde_block_delta (npr. tudi za ventilatorje pri PC). http://de.nanotec.com/bldc_motoren.html

Enosmerni servomotorji so posebne izvedbe, ki omogočajo hitro spreminjanje vrtljajev in hitro ustavljanje. Konstrukcija je takšna, da ima rotor čim manjšo vztrajnost (mali premer in večja dolžina rotorja, diskasta izvedba rotorja) in ima pogosto prigradjeno še elektromagnetno zavoro, ter dajalnik impulzov. Servomotorji so namenjeni zgolj za pozicioniranje (spreminjanje položaja, zasuka), ne pa za pogon strojev. Pomembna lastnost servo-motorjev je torej vztrajnost in odzivnost rotorja, saj posredno določa hitrost odziva servo-sistema. Nekateri enosmerni servo-motorji so zato konstruirani tako, da njihov rotor ne potrebuje magnetnega jedra, ki sicer prispeva večji del vztrajnosti.

Krmiljenje vrtljajev pri DC servo motorjev manjših moči je mogoče uporabiti klasični elektronski linearni ojačevalnik, katerega končna stopnja vsebuje bipolarni ali MOS tranzistorje. Na ta način je mogoče doseči najvišje hitrosti pozicioniranja ali vrtljajev rotorja, žal pa so izgube velike, zato je potrebno elemente močnostne stopnje izdatno hladiti (A)

Bistveno boljša rešitev je napajanje s PWM impulzi (visok izkoristek) v izvedbi s H-mostičnim vezjem, ki omogoča še menjavo polaritete. Ta način je zelo pogost in je primernejši za regulacijo hitrosti, manj pa za servo-delovanje (B)

Za krmiljenje zelo visokih moči je mogoče uporabiti Ward-Leonardovo kombinacijo motorja in generatorja. Pri tej varianti izmenični asinhronski motor, priključen na napajalno omrežje, poganja enosmerni generator. Temu s pomočjo linearnega ojačevalnika nastavljamo tok vzbujalnega navitja. Izhodna enosmerna napetost generatorja je proporcionalna vzbujalnemu toku in omogoča napajanje enosmerne (servo) motorja velike moči (C). Ta način so zaradi visoke cene izpodrinile rešitve s frekvenčnimi pretvorniki.



Koračni motorji omogočajo gibanje korakoma, glede na hitrost in število impulzov. Popularnost koračnih motorjev izvira iz njihove množične uporabe v napravah računalniške periferije (pogon valja s papirjem, tiskalniške glave pri tiskalnikih, pogon glave optičnega čitalnika - skenerja,...). V servo-sistemih so bistveno manj pogosti, ker so zaradi koračenja relativno počasni.

Koračni motorji imajo dva ali več parov statorskih navitij, ozobljen rotor s permanentnim magnetom, ter posebej oblikovan magnetni jarem, ki omogoča, da se rotor zavrti le za en korak v levo ali desno smer, odvisno od načina vzbujanja navitij. Motorje krmilimo z impulzi, zato jih je mogoče krmiliti z mikroprocesorji brez vmesne pretvorbe signalov v analogno obliko. Spremembo položaja rotorja določa število impulzov na statorju. S temi motorji zato položaj (zasuk) ob normalnih obremenilnih pogojih lahko kar nastavljamo (krmilimo) in povratne zanke ne potrebujejo, razen za prepoznavanje izhodiščne pozicije. Za delovanje v zaprti regulacijski zanki niso primerni. <http://de.nanotec.com/linearaktuatoren.html>

Dobra stran je, da lahko hitrost spreminjamo kar z s hitrostjo zaporedja impulzov ali z načinom krmiljenja navitij (full step, half step, wave drive, quater step,...), da se napaka ne pozicije ne sešteva in da ima dober držalni moment v mirujoči poziciji.

Slabost je mala hitrost, slabljenje momenta pri gornjih hitrostih, možni problemi z resonanco in kompliciran gonilnik.

3.3 PNEVMATSKI IN HIDRAVLIČNI AKTUATORJI TER IZVRŠILNI ČLENI

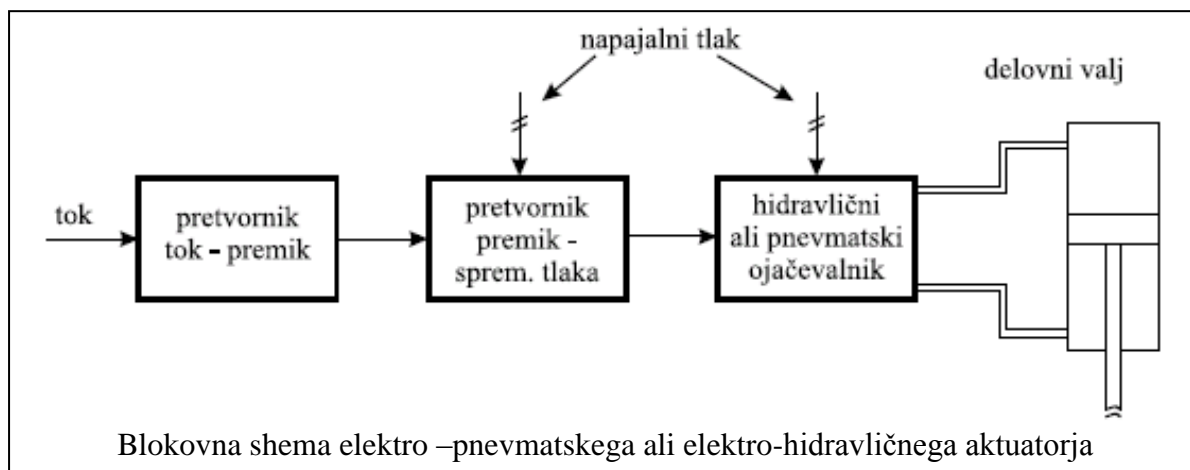
Pnevmatski in hidravlični aktuatorji lahko služijo kot vodeni pogoni za različne končne izvršne člene (za ventile, lopute, brezstopenjske menjalnike, ABS sistem itd.) lahko pa služijo samostojno kot izvršni sistemi za premik ali rotacijo (npr. pri stiskalnicah, v robotiki, v avioniki, pri obdelovalnih strojih, itd.). Najpogostejša izhodna oblika je linearni pomik, mogoča pa je tudi rotacija (hidravlični ali pnevmatski motor).

V pnevmatskih in hidravličnih sistemih premik, rotacijo ali navor povzroči tlak zraka oziroma hidravličnega olja, ki pritiska na odmični sistem: na bat, na membrano, na turbino, itd. Za delovanje teh sistemov potrebujemo vire aktivacijske energije – tlaka medija. V pnevmatskih sistemih v ta namen uporabljamo kompresorje (batne črpalke), ki dvigujejo tlak zraka na 6, 10, 15 ali več barov. Zrak iz kompresorja nato polni jeklene rezervoarje, ki “zgladijo” nihanje tlaka zraka in služijo kot akumulatorji energije. Na ta način lahko pnevmatski sistemi nekaj časa delujejo avtonomno, kar je posebej pomembno pri premoščanju izpadov napajalne (električne) energije. Zrak iz rezervoarja je potrebno večinoma še filtrirati, odstraniti zaradi vlage v zraku kondenzirano vodo, ga po potrebi naoljiti z razprševanjem olja, ter lokalno znižati tlak na ustrezne delovne nivoje (npr. 1.6 bara, 2 bara, itd.).

V hidravličnih sistemih potrebujemo rezervoar z oljem, ustrezno zobniško črpalko ter sistem finega filtriranja olja, saj lahko že zelo majhni tujki v olju onemogočijo delovanje aktuatorskih sistemov oz. povzročijo poškodbe tesnil (MBR) ali celo na površinah valjev.

3.3.1 Pnevmatški ojačevalniki in pretvorniki

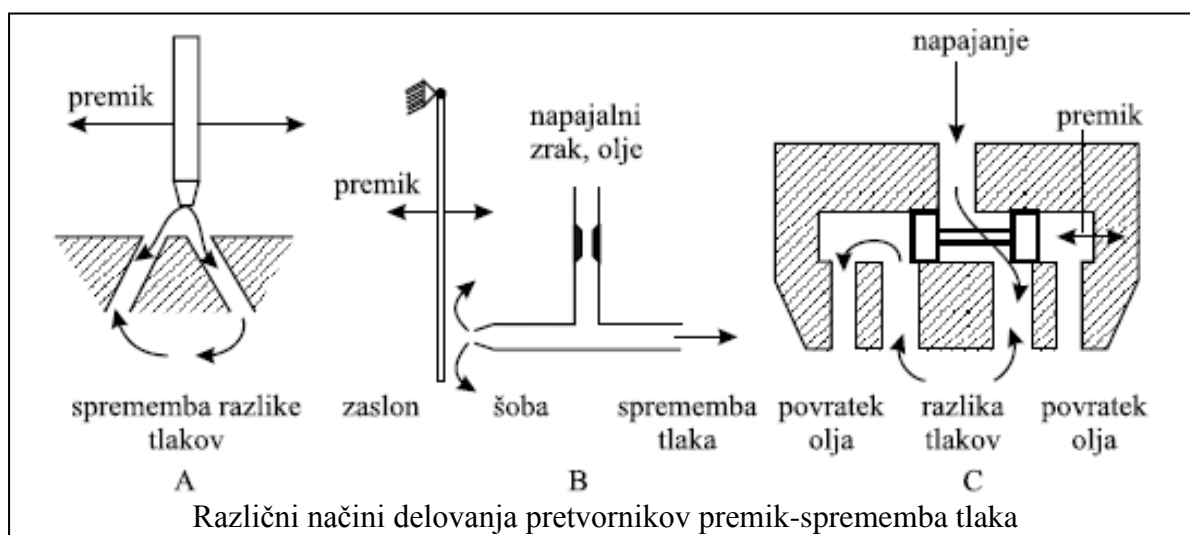
Pri aktuatorjih želimo z vhodnim signalom, ki je najpogosteje električni-tokovni signal, povzročiti spremembo pozicije. V primeru hidravličnih ali pnevmatskih aktuatorjev moramo z vhodnim signalom najprej doseči spremembo tlakov, sprememba tlakov pa nato preko batov ali membran povzroči nastanek sile in premik. Kot pretvornik tok-premik služi elektromagnet z gibljivo kotvo ali z gibljivo tuljavico. Sprememba vhodnega toka povzroča premik kotve ali tuljavice. Zelo majhen premik kotve nato vpliva na pretvornik premik-sprememba tlaka. Zelo majhen premik kotve nato vpliva na pretvornik premik-sprememba tlaka.



Take pretvornik lahko pretvarja premik v spremembo tlaka na več možnih načinov:

- Preko curkovne cevi (A)
- preko sklopa šoba-zaslon (B)
- preko drsnega ali batnega ventila (C)

Ker so spremembe tlakov na izhodu omenjenih pretvornikov relativno nizke, jih je običajno potrebno ojačiti. V ta namen služijo hidravlični ali pnevmatski ojačevalniki, ki ojačijo tlačne spremembe in povečajo pretok olja ali zraka, potrebnega za hiter premik bata v valju ali membrane pri membranskem pogonu. Pnevmatškim ojačevalnikom včasih rečemo tudi pnevmatski rele.

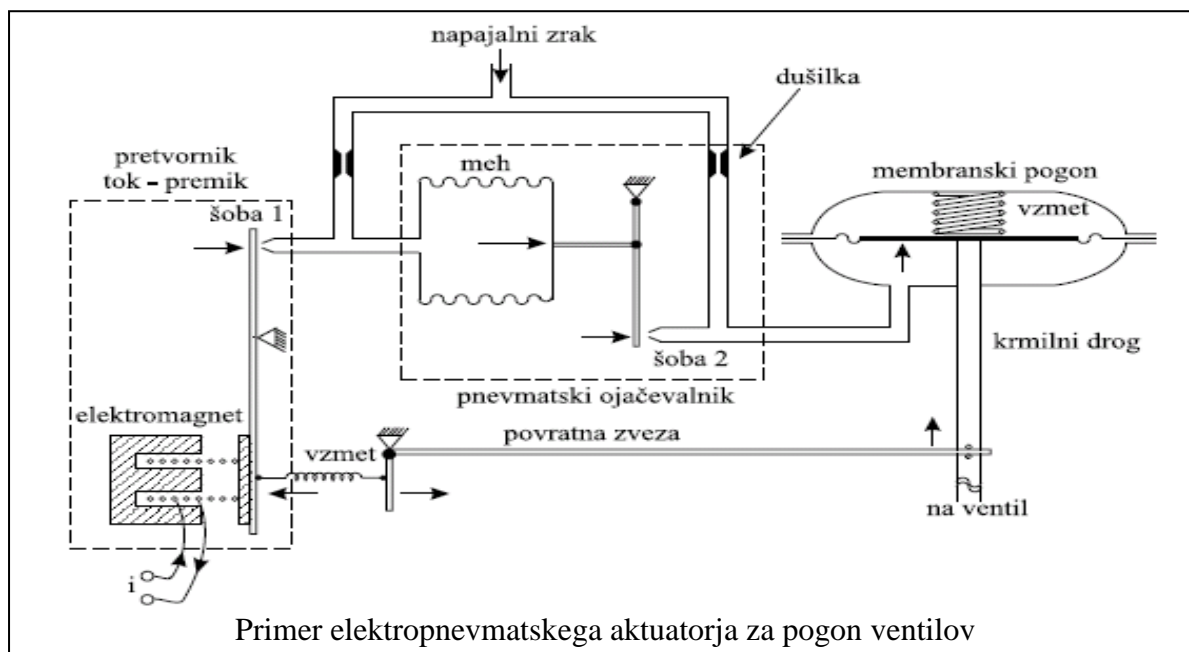


Primer elektropnevmatškega aktuatorja za pogon ventilov

Prikazana izvedba vsebuje sklope kot so na blokovni shemi ima pa še povratno zvezo, ki služi za linearizacijo karakteristike in druga izboljšanja delovanja aktuatorja.

Analizirajmo primer, ko bi želeli odpreti ventil (dvigniti krmilni drog)! V tem primeru se mora povečati tok skozi gibljivo tuljavico v elektromagnetu. Tuljavica se preko povečane elektromagnetne sile bolj pomakne v elektromagnetno jedro. Pri tem premiku zaslonka preko vzvoda pripre šobo 1. Zaradi priprtja šobe se poveča tlak v mehu pnevmatskega ojačevalnika, ki se zato raztegne v smeri puščice. Posledično zaslonka na vzvodu močno pripre šobo 2, zaradi česar naraste tlak v spodnjem delu membranskega pogona. Povečani tlak povzroči silo na površino membrane, stisne vzmet in dvigne krmilni drog, ki odpira nanj povezani ventil. Pri dvigu droga se preko povratnega mehanskega vzvoda napne vzmet in s tem deloma kompenzira povečano silo tuljavice v jarem elektromagneta.

Na tak način postane pomik droga skorajda linearno odvisen od jakosti toka skozi tuljavico elektromagneta.



Prikazani primer elektropnevmatskega aktuatorja lahko tudi pojasni, zakaj so tovrstni aktuatorji tako zelo pogosti v kemijski in drugih procesnih industrijah. Pri sklopih šoba-zaslonka izhaja napajalni zrak v okolico, torej v ohišje, v katerem je nameščen ta del aktuatorja (pozicionerja). Iz ohišja zrak izhaja preko zračnega filtra, zato v ohišju nastane nadtlak. Ta nadtlak preprečuje, da bi v ohišje prodrli prašni delci ali korozivni plini, zato lahko taki pozicionerji delujejo izjemno dolgo v izjemno težkih delovnih pogojih. Poleg tega sistem vsebuje le malo gibljivih delov (ni rotirajočih delov), zato je obraba praviloma neznatna. Sistem lahko deluje v zelo širokem temperaturnem območju, saj ne vsebuje elektronskih sestavnih delov. Z omejitvijo napetosti oziroma toka skozi tuljavico je mogoče zlahka doseči eksplozijsko varnost, ki jo še poveča zračni nadtlak v ohišju pozicionerja. Tak aktuator deluje brez drugih virov električne energije, ki bi lahko z iskrenjem povzročile eksplozijo.

3.3.2 Značilnosti pnevmatskih in hidravličnih izvršilnih sistemov

Pnevmatski sistemi

Prednosti:

- ✓ enostavna izpolnitev zahtev iz eksplozijske varnosti;
- ✓ korozijska odpornost zaradi nadtlaka zraka;
- ✓ higieničnost delovanja (ni potrebno mazanje, ni prisotnosti olj);
- ✓ lahka in cenena dosegljivost komprimiranega zraka;
- ✓ neproblematičnost instalacije (morebitno puščanje ne škodi okolici);
- ✓ do naprav vodimo le eno napajalno cev

- ✓ napajalno energijo je mogoče enostavno shranjevati;
- ✓ napajalno energijo je mogoče pripravljati v centralnih kompresorskih postajah,
- ✓ prilagoditev tlaka pa je mogoče relativno poceni pripraviti s pomočjo redukcijskih regulacijskih ventilov

Slabosti:

- relativno majhna močnostna učinkovitost;
- za velike sile so potrebni veliki preseki batov in valjev ali membran
- počasnost in zakasnitve zaradi stisljivosti zraka;
- možnost eksplozije rezervoarjev s stisnjenim zrakom
-

Hidravlični sistemi

Prednosti:

- ✓ enostavna izpolnitev zahtev iz eksplozijske varnosti;
- ✓ zelo visoko razmerje moč-teža (bolje od električnih pogonskih sistemov, če upoštevamo le teže aktuatorjev in končnih izvršnih členov);
- ✓ zelo visoke dosegljive sile in momenti;
- ✓ visok izkoristek moči;
- ✓ samomazanje in samohlajenje;
- ✓ velika robustnost;
- ✓ zelo hitri odzivi (v primerjavi s pnevmatskimi sistemi);
- ✓ možne translatorne in rotacijske izvedbe;
- ✓ ni nevarnosti eksplozije (zaradi zanemarljive stisljivosti olja).

Slabosti:

- do vsake naprave morata voditi dve cevi (napajalna in povratna);
- gibljivost cevi je slaba saj mora zdržati visoke tlake (nekaj 100 barov);
- spoji morajo skoraj idealno tesniti, sicer pride do onesnaževanja okolice;
- možna so tudi večja iztekanja hidravličnega olja;
- vsako intenzivnejše puščanje onemogoča delovanje celotnega sistema (več paralelnih sistemov);
- napajalno energijo (tlak olja) je težko oz. drago shranjevati za primer izpada električne energije za pogon napajalnega agregata;
- pogosto potrebuje vsak hidravlični aktuator svoj tlačni oljni agregat (več črpalk, npr. pri bagru);
- pri preciznih sistemih je potrebno zniževati pulzacije napajalnega agregata;
- potrebno je zahtevno filtriranje olja in pazljiva izvedba instalacije, saj lahko morebitni tujki v olju poškodujejo tesnila in precizne regulacijske elemente (servo-ventile);

3.4 VENTILSKI AKTUATORJI ZA PROCESNO INDUSTRIJO

Čeprav je mogoče ventile in lopute poganjati z najrazličnejšimi aktuatorji, pa so v procesni industriji in energetiki uveljavljeni predvsem naslednji aktuatorji.

Pnevmatski membranski aktuatorji so primerni za male in srednje proti-tlake fluida oziroma za male in srednje premere ventilov. V večini primerov deluje proti pnevmatskemu tlaku na membrani skupina vzmeti. S postavitvijo vzmeti je mogoče izbirati, ali naj pri izpadu napajalne energije vzmeti ventil zaprejo ali odprejo, kar je seveda treba uskladiti s tehnološkimi zahtevami procesa. Ta varnostni aspekt teh pogonov je pogosto ključ za njihov izbor.

Pnevmatski batni aktuatorji so primerni tedaj, ko so potrebni veliki hodi ventilskega vretena, omogočajo pa lahko tudi rotacijo za 90°, ki je potrebna za pogon krogelnih ventilov, metuljastih ventilov in loput.

Hidravlični aktuatorji so primerni tedaj, ko so potrebne velike sile ali navori za premik oz. držanje ventilov v želenem položaju (kadar je na ventilu velik padec tlaka). Pogosto je v okviru teh aktuatorjev prigraden tudi napajalni hidravlični agregat, ki ga poganja izmenični asinhroni motor.

Elektromotorni aktuatorji so običajno krmiljeni tropoložajnikar pomeni da motor stoji, se vrti v levo ali se vrti v desno. Asinhroni izmenični motor poganja vreteno ventila preko zobniških prenosov in translatornih pretvorb s polži, vijaki in zobatimi letvami. Preko vzvodov je možno poganjati tudi lopute. Pri izpadu napajalne energije tovrstni aktuator ohrani nastavljeno pozicijo (npr. polžni prenos), včasih pa to še posebej zagotovi mehanska zavora. To je zelo pomembno pri regulaciji procesov, ki morajo neprekinjeno delovati tudi pri izpadu napajalne energije. Poleg tega je hitrost gibanja teh aktuatorjev omejena s številom vrtljajev asinhronnega motorja in »ojačanjem« mehanskega prenosa. Za poln hod potrebujejo od 10 sekund do nekaj minut. Našteti dve posebnosti favorizirata uporabo teh aktuatorjev v energetiki oz. komunali. Z omejeno hitrostjo gibanja je namreč mogoče preprečiti nevarne situacije, npr. nastanek "tekočinskega udara" v cevovodih.

Izbor elementov izvršnih sistemov je zahtevna naloga, ki zahteva široko interdisciplinarno znanje projektanta ali celo sodelovanje ve strokovnjakov. Pri novih tehnologijah je potrebno celo z metodami preizkušanj poiskati najugodnejše rešitve.

Pogone ali krmiljenje najobičajnejših končnih izvršnih členov izvajajo ojačevalniki in aktuatorji, ki so lahko električni, pnevmatski, hidravlični ali celo mehanski. Nobena izmed naštetih variant nima absolutne prednosti, pač pa vsaka prinese za konkretni primer odločujočo specifičnost. Posebej pozorni moramo biti na vrsto pomožne energije, ki je potrebna za delovanje, na način reagiranja pri izpadu napajalne energije, na potrebne moči, navorne sile, na vzdržljivost v agresivnem, prašnem ali vlažnem okolju, na eksplozijsko varnost, itd.

S stališča regulacijske tehnike (zaprtozančne regulacije) moramo zagotoviti tak izbor izvršnih sistemov, ki bo omogočal čim manjše spremembe ojačanja regulacijske zanke v odvisnosti od delovne točke procesa (linearnost). Dinamični odziv naj bo dosti hitrejši od vodenih procesov. Nastavitveno območje naj omogoča normalno izkrmiljenje motenj in spreminjajočih se obremenitev procesa. Histereza in mrtva cona naj bosta dovolj majhni, da ne prineseta opaznih limitnih ciklov - oscilacij.

4 VMESNIKI IN SIGNALNE POVEZAVE

5 MERILNI SENZORJI IN MERILNI PRETVORNIKI

Sodobni računalniško podprti sistemi za vodenje so sestavljeni iz vrste različnih gradnikov, ki se med sabo razlikujejo tako po funkcijah, katerim so namenjeni, kot tudi po stopnji kompleksnosti vgrajenih mehanizmov ter fizične in logične strukture, ki omogoča njihovo delovanje.

Poglavje je namenjeno podrobnejši predstavitvi nekaterih najbolj značilnih gradnikov, ki jih potrebujemo pri izgradnji sistemov za vodenje.

Poglavje se začne s podpoglavjema o merilnih sistemih in izvršnih sistemih, v katerih se spoznamo z raznolikostjo principov njihovega delovanja po eni strani ter različnimi področji uporabe po drugi strani.

Sledi podpoglavje o vmesnikih in signalnih povezavah. To so gradniki, ki omogočajo komunikacijo oziroma izmenjavo informacij med napravami različnega tipa in napravami na različnih področjih uporabe.

Naslednji dve podpoglavji sta namenjeni podrobnejši predstavitvi dveh vrst gradnikov, ki sta v sistemih za vodenje najbolj pogosti. To so po eni strani krmilniki, ki so seveda pretežno

namenjeni realizaciji krmiljenja, in regulatorji, ki so pretežno namenjeni regulaciji. V obeh primerih torej gre za gradnika, ki imata specifičen namen in funkcijo.

Za razliko od tega pa v naslednjem podpoglavju govorimo o računalnikih kot zelo univerzalnem gradniku, ki bodisi lahko nastopa samostojno ali pa je vgrajen v druge gradnike veje kompleksnosti.

Da bi lahko človek uspešno vršil svojo vlogo, potrebuje posebno vrsto gradnikov, ki jih imenujemo naprave za komunikacijo med človekom in strojem. Eno od podpoglavij je namenjeno okvirnemu opisu teh naprav.

Zadnje podpoglavje v tem poglavju pa se nanaša na integrirane sisteme vodenja. To seveda niso gradniki v pravem pomenu besede, pač sistemi, ki nastanejo s povezavami različnih vrst gradnikov. V kontekstu vloge človeka v sistemu vodenja pa bi tudi takšen integrirani sistem lahko razumeli kot gradnik največje kompleksnosti, ki nato v povezavi s človekom tvori končni sistem za vodenje.

5.1 MERILNI SISTEMI

Tipalo ali *senzor* je primarni element merilnih sistemov za procesno vodenje. Služi za pretvorbo merjene fizikalne veličine v drugo, za obdelavo primernejšo obliko, največkrat električno obliko. Ta je lahko spremenljiva napetost, tok, upornost, spremenljiva kapacitivnost, induktivnost, medsebojna induktivnost, elektri na nihanja različnih frekvenc, faz, amplitude, itd. Vsako tipalo bolj ali manj vpliva na energijske ali snovne (masne) razmere merjene procesne veličine: termo len odvaja del toplote iz ogretega medija, merilni termopar Pt-100 medij rahlo segreva, kakršnakoli meritev pretoka teko in ali plinov povzroči dodatno padec tlaka. Tipalo je temboljše, immanj vpliva na merjeno procesno veličino

¹⁰ Pogosto pod izrazom "senzor" marsikdo razume "merilni sistem" kot celoto. V nekaterih primerih, ko sta npr. tipalo in merilni pretvornik integrirana na istem polvodniškem nosilcu, je morda to tudi upravičeno. Sicer pa je ustreznejše lociti senzor (tipalo) in merilni pretvornik kot dva elementa merilnega sistema. V angleški literaturi pa je najpogosteje z besedo "transmitter", dodano k imenu procesne veličine (npr. "pressure transmitter"), označen kar cel merilni sistem stalno vred. Podoben način uporabe imata tudi beseda "transducer".

ter imboljen njegov izhodni signal ustrezno merjeno veličino.

Izhodne signale nekaterih tipal je mogoče dokaj enostavno in kvalitetno prenašati tudi na krajših razdaljah, npr. signale termo lenov, upornost Pt-100 termoparov, napetosti sinhrotransformatorjev, ipd. Na sprejemni strani tedaj s skupnim merilnim pretvornikom sekvenčno obdelamo signale posameznih tipal, v asih pa jih je mogoče celo neposredno povezati na prikazovalne ali regulacijske elemente zank. Praviloma pa lahko dosežemo bistveno boljše lastnosti, e tipalu dodamo ustrezni *merilni pretvornik* v njegovi neposredni bližini in tako sestavimo celovit merilni sistem. *Merilni pretvornik* je naprava, ki šibek signal tipala pretvori v energijsko bogatejši izhodni signal, primernejši za prenos na daljavo. V sistemih procesnega vodenja sta najbolj uveljavljena elektri na tokovna signalna sistema 0-20 mA in 4-20 mA, v uporabi pa je še vedno pogost pnevmatski signalni sistem s tlakom 0.2 do 1

¹¹ bar. Med elektri nimi signalnimi sistemi je mogoče zaslediti tudi napetostne signalne obsege 0-10V, 0-1V, itd., vendar za veje razdalje niso tako primerni kot tokovni. Podrobnejšo obravnavo zajemanja, pretvorbe in prenosa signalov lahko bralec najde v podpoglavju 7.6.1.

V zadnjem asu vse ve merilnih pretvornikov vsebuje mikroprocesor, ki pa lahko izmerjeno vrednost pošilja na daljavo tudi v digitalni obliki. Tu obstaja veliko različnih možnosti, med drugimi digitalni komunikacijski sistem PROFIBUS, ASI (Aktuator-Sensor-Interface) in drugi (glej podpoglavje 7.6.2 o digitalnih komunikacijah v sistemih procesnega vodenja).

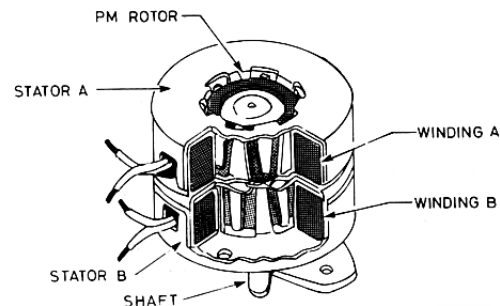
6 PRILOGA

6.1 POGONI S KORAČNIMI MOTORJI

Koračni motorji so elektro-mehanske naprave, ki omogočajo pretvarjanje digitalnega podatka v proporcionalni mehanski premik. Pri vzbujanju po programiranem zaporedju, se rotor v diskretnih korakih ustrezno premika oz. zavrti v željeno smer, za predviden kot. Koračni motorji se večinoma uporabljajo kot izvršilni členi pri krmiljenju z digitalnimi vezji. Njihova izrazita prednost v preciznem in hitrem pozicioniranju jim zagotavlja široko uporabnost in številne režime delovanja.

Nekatera značilnejša področja vgradnje so:

- pogon papirnih, magnetnih in drugih trakov
- nastavitve ostrine pri kamerah
- koordinatni pogoni pri strojih (X,Y,Z)
- pri tiskalnikih, risalnikih in skenerjih
- pri medicinskih in merilnih napravah
- za impulzne izvršilne člene na strojih
- na napravah za tehtanje in označevanje
- za mehansko digitalno-analogni pretvorbo
- pri daljinskem upravljanju naprav za pozicioniranje
- za dovajanje goriva in krmiljenje ventilov in črpalk s spremenljivo hitrostjo



Za vse te naprave je skupno nadzorovano gibanje. Kjerkoli je potrebno zagotoviti nadzorovano gibanje in/ali pozicioniranje brez kumulativne napake, je uporaba koračnega motorja prava rešitev, ker zagotavlja, da je sistem hiter, prilagodljiv in točen.

Iz mehanskega vidika je koračni motor enostavna, zanesljiva in precizna mehanska komponenta, ki ne potrebuje posebnega vzdrževanja. V preteklosti so enostavne rešitve z mehansko delujočimi končnimi stikali pogosto zagotavljale zadovoljivo rešitev za mnoge sisteme pozicioniranja, toda povečane zahteve vsiljujejo tudi izboljšane pogonske sisteme. Prednost sistemov s koračnimi motorji je tudi v enostavnosti uporabe krmilnih vezij, ki so večinoma v integrirani obliki. Kombinacija prednosti v hitrosti, visoki moči, nizki ceni, visokem izkoristku končnih stopenj in v enostavni uporabi koračnih motorjev odpira široke možnosti uporabe.

Vse to je lahko v prid koračnim motorjem samo, če so pravilno priključeni in navitja ustrezno krmiljena. To vključuje način napajanja, elektronska stikala in izvor krmilnih impulzov (digitalna informacija). Enosmerna napetost je priključena na motor preko mreže močnostnih elektronskih stikal. Učinek tega je, da se za vsak impulz na izhodni stopnji rotor premakne za en korak. Kot, ki pripada enem koraku zavisi od tipa motorja in je lahko od 1.8 do 15 kotnih stopinj. Torej, če pride 24 impulzov na krmilno vezje, se bo os motorja s korakom 15° zavrtela za cel krog. Čas v katerem bo opravljen zasuk, je določen s frekvenco impulzov oz. hitrostjo korakov.

Impulze za krmilno vezje lahko posreduje generator z nastavljivo frekvenco, namenski IC ali pa mikroprocesorski sistem.

Glede na konstrukcijo delimo koračne motorje na tri tipe:

- koračni motor s permanentnim magnetom,
- koračni motor s spremenljivo »reluktanco«,
- hibridni koračni motor.